

論文の内容の要旨

論文題目	データ保護システムの性能評価およびサイジング方式の研究
学 位 申 請 者	田 口 雄 一

近年、デジタル化の進行によりデータ量が爆発的に増加している。企業や政府では、膨大な量のデータ分析による新たな知見の獲得や、データから学習したモデルによって様々な業務プロセスを自動化するといった試みが盛んに進められている。こうした技術の発展により、データそのものが価値ある資産と認知されるようになった。

企業はデータ消失を原因として事業機会を逸することを避けるため、様々な手段によるデータ保護に取り組んでいる。そのひとつであるディザスタリカバリは、地理的に離れた拠点にデータを複製することで、大規模な障害が発生しても、複製されたデータで事業を継続しようとする対策である。東日本大震災以降、企業では遠隔サイトにデータを冗長化する「データ保護システム」への関心がさらに高まっている。

データ保護システムの性能指標のひとつがRPO (Recovery Point Objective) である。RPOは、データに問題が発生した時刻と、同時刻から遡って復旧可能である時刻との差である「リカバリポイント」の目標値であり、短時間であるほど高い性能が要求される。一例としてRPOが60分に設定されていれば、同システムは問題発生時刻から遡って60分以内のデータに復旧できることを求められる。言い換えれば、これは60分未満のデータ消失を許容することを意味している。データ消失リスクをコントロールするために、企業はRPOを達成するよう適切にシステムを運用しなければならない。

そのためデータ保護システムの運用管理においては、稼働しているシステムのリカバリポイントがRPOを達成しているかどうか、常時監視する仕組みが必要となる。リカバリポイントを監視するためには、データの生成時刻と、同データが別拠点に記録される時刻の差（転送遅延時間）を測定すれば良い。しかしながら、この時差を測定する汎用的なりカバリポイント監視手段が存在しないため、RPOを達成しているかどうか判定できないことが課題となる。

そこで本研究では、データ保護システムの構成と処理手順を抽象モデルで表し、リカバリポイントを計算する汎用的な性能評価方式を提案する。この方式では、転送処理の過程でバッファに滞留するデータ量を入力として遅延時間を計算することにより、リカバリポイントの監視を可能とする。

リカバリポイントの監視が可能になることで、同システムが性能目標RPOを達成しているかどうか判定できるようになる。判定の結果、RPOを達成していなければシステムリソースを増強して性能を上げる必要がある。逆にもし性能が過剰であると判定された場合には、リソースを削減することでその費用を削減できる可能性がある。その実現にあたっては、RPOを達成し、かつできるだけ費用が少なくなるシステム構成を発見することが課題となる。

本研究では、上記の条件を満たす適正なシステムサイズを予測する性能シミュレーション技術を提案する。この方式では、バッファに滞留する未転送データ量を予測する計算式を定義する。この予測値をリカバリポイントに換算することで、RPOを達成する構成であるかどうか判定可能となる。同シミュレーションの適用により、性能目標を達成し、かつリソース量が過剰にならない適切なシステム構成を導出することができるようになる。

以上のシステム性能評価およびサイジング方式を提案し、実験を通じて検証した。性能評価については、実験環境で観測された未転送データ量からリカバリポイントを計算できることを示した。システムサイジング方式の検証にあたっては、シミュレーションによる未転送データ量の予測値と、実測による測定値の誤差を1.9%まで縮めることができた。これはリカバリポイントに換算すると誤差が発生しない程度の違いでしかなく、シミュレーションとしては十分に高精度であるとの結論に至った。またこのサイジング方式の適用により、負荷のピークにあわせた構成と比較して89%のシステムコストを削減できる可能性があることがわかった。これらの実験と考察を通じて、本提案の有効性を実証した。

本研究により、データ保護システムの運用管理PDCAサイクルを確立し、RPO（すなわちデータ消失リスク）に応じたシステム性能の調整を可能とした。特に通信回線をはじめとするシステムリソース量を、リスクとコストに従って適切に決定することが可能となった。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 田 口 雄 一

審査委員主査 吉 永 努

委員 大 森 匡

委員 田 野 俊 一

委員 大 坐 島 智

委員 策 力 木 格

委員

委員

本研究は、データ保護システムにおける性能評価方式と、適正なリソース量を見積もるシステムサイジング方式を提案する。各方式は、データ転送処理の過程でバッファに滞留するデータ量を転送遅延時間に換算する技術に基づく。実験を通じ、同方式が十分に高精度であること、ならびに高いコスト削減効果を得られることを確認し、その有効性を実証した。本論文は以下の8章による構成である。

第1章では、本研究の背景であるデータ消失による損失について述べた。その上で本研究の目的が性能評価ならびにシステムサイジングによる貢献を果たす研究であることを明らかにした。

第2章では、関連研究の整理を踏まえ、本研究の位置づけを明らかにした。ディザスタリカバリの計画や性能監視に関わる過去の研究を整理した上で、本研究対象がRPOの評価に関する技術であること、ならびに製品実装に依存しない汎用的な方法でデータ保護システムの性能とコストを適切に設計する技術であることを示した。

第3章では、技術潮流を整理した上で、本研究技術の適用範囲を明らかにした。特に情報システムのアーキテクチャ、開発手法および運用管理手法の変遷をまとめた。さらにデジタルデータの活用に向けたトレンドを整理し、本研究の対象範囲がオープンシステムとクラウドコンピューティングであることを示した。

第4章では、データ保護に対する期待の高まりと、データ消失リスクコントロールの必要性について考察した。データ保護性能指標であるRPO (Recovery Point Objective) は、データに問題が生じた時刻と、そこから遡ってデータを復旧可能である時刻 (リカバリポイント) との差であり、その遵守が求められる。

一方でRPO達成状況の監視と、RPOを達成するシステム構成の導出技術が確立されていないことが課題となる。本研究ではストレージの非同期リモートコピーならびにクラウドストレージゲートウェイによる実装をターゲットとして、同課題の解決を図った。

第5章では、データ保護システムの性能評価方式を提案した。本方式では、システム構成とその振る舞いをモデル化し、書き込みデータ量の時系列推移を入力としてアップロードバッファに滞留する未転送データ量を計算する。この未転送データ量を転送遅延時間に換算することで、リカバリポイントが算出される。本方式によって日常的にリカバリポイントを監視することが可能となり、データ保護性能が要件であるRPOを達成していなければ、迅速な対策を講じることが可能となる。

第6章では、データ保護システムの構成を適正化するサイジング方式を提案した。これは机上設計したシステム構成を対象として、データ書き込み負荷を発生させた場合に生じる転送遅延時間を予測するシミュレーション技術である。同予測によって、そのシステムのリカバリポイントと所要リソースサイズを算出することが可能となる。様々な想定構成を対象としたシミュレーション結果を比較し、RPOを達成してかつコストが最小となるケースを適正システム構成として導出する。

第7章では、ストレージの非同期リモートコピーシステムを対象として、前述の性能評価方式およびサイジング方式の検証を行った。同システムの振る舞いをモデル化し、実際に企業のデータセンタで発生した書き込み負荷を再現することで、リカバリポイントを算出できることを示した。特にリモートコピーシステムはローカルサイトからリモートサイトへの回線帯域の広さに比例して性能とコストが上昇するため、RPOを達成する最小の回線帯域を予測することで、適正システムサイズを導出できるという結論に至った。

さらに、クラウドストレージゲートウェイで実験環境を構築し、実験を通じて本研究方式を検証した。ここでも企業のクラウドで実際に発生した書き込み負荷を再現し、アップロードバッファに蓄積される未転送データ量を測定した。これを転送遅延時間に換算することで、リカバリポイントの監視が可能となることを示した。次に同じ書き込み負荷を入力として未転送データ量を計算したところ、この予測値と、前述の測定値の誤差を負荷ピーク時点で1.9%まで抑えられた。これはリカバリポイントに換算すると誤差を生じない程度のギャップでしかなく、シミュレーションとしては十分に高精度であるという結論を得た。本方式の適用により、性能要件(RPO)とコストの最小化を両立するシステムサイズ(回線帯域)の導出が可能となった。また本実験条件においてRPOを30分と仮定すると、ピーク負荷にあわせた設計と比較して89%のコストを削減できることを示した。

第8章では、今後の展開としてIoTなどのアプリケーションへの応用の可能性を述べた。

以上のデータ保護システム性能評価とサイジング方式は、データ消失リスクの制御を実現し、性能要件を達成しながらも企業のIT投資を大きく抑制できる効果を期待できる。したがって、本論文は学術型研究として十分な貢献があり、博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものとして認められる。